

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 การศึกษาและการทดลองกระบวนการขึ้นรูปร้อนชิ้นงานเหล็กแผ่น

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปร้อนเหล็กแผ่น (Hot stamping) พบว่ากระบวนการนี้เป็นการขึ้นรูปเหล็กแผ่นและทำให้เหล็กแผ่นเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในแม่พิมพ์ ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นขั้นตอนที่นำเหล็กออกจากเตาที่มีอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหล็กมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ทั้งหมดมาวางไว้บนแม่พิมพ์ตัวล่างเพื่อรอการขึ้นรูป ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 6 วินาที ขั้นตอนที่ 2 คือ ขั้นตอนการขึ้นรูปเหล็กแผ่น ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ 1 วินาที และขั้นตอนสุดท้ายขั้นตอนที่ 3 คือ ขั้นตอนการทำให้ชิ้นงานเย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยแม่พิมพ์โดยชิ้นงานจะถ่ายเทความร้อนไปที่แม่พิมพ์ทั้ง 2 ตัวและเป็นช่วงเวลาที่เหล็กมีการเปลี่ยนโครงสร้าง ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ 20 วินาที ซึ่งในทางทฤษฎีเส้นอัตราการเย็นตัวในแผนภาพ CCT ของเหล็กกล้าโบรอนเกรด 22MnB5 ต้องสูงกว่า 27 องศาเซลเซียสต่อวินาที จึงจะได้โครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูงคือ มาร์เทนไซต์ ซึ่งจากทดลองกระบวนการขึ้นรูปจริง พบว่าเหล็กแผ่นที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อนมาจะมีโครงสร้างทางจุลภาคเป็นเฟสของมาร์เทนไซต์เกือบทั้งหมดและมีเบนไนต์ปะปนอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์มีบางส่วนไม่สัมผัสกันทำให้อัตราการเย็นตัวของชิ้นงานบางตำแหน่งไม่ได้ตรงตามทฤษฎี โครงสร้างที่ได้จึงมีเฟสเบนไนต์ปะปนอยู่กับเฟสมาร์เทนไซต์อีกทั้งยังส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานนั้นไม่เท่ากันในแต่ละบริเวณ ซึ่งบริเวณที่ตรงแนวปีกของชิ้นงานจะมีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 465.7 – 530.4 HV, บริเวณชิ้นงานแนวกลางจะมีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 458.4 – 541.4 HV, สำหรับความแข็งแรงบริเวณขอบบนและตรงกลางตามแนวขวางของชิ้นงาน จะมีค่าความแข็งแรงอยู่ที่ 458.2 – 591.5 HV, 410 – 544 HV ตามลำดับ เมื่อนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึงพบว่าความสามารถในการต้านทานแรงดึงสูงสุดของเหล็กกล้าโบรอนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 1470 MPa และค่าความเค้น ณ จุดครากเป็นประมาณ 1110 MPa จากผลการทดสอบแรงดึงพบว่าบริเวณตรงกลางของชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อนจะมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าบริเวณบริเวณปีกประมาณ 60 MPa สำหรับการถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานไปสู่แม่พิมพ์พบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และบริเวณที่มีท่อระบายความร้อน (Bottom area) จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าบริเวณที่ไม่มีท่อระบายความร้อน (Flange area)

6.1.2 การศึกษาแบบจำลองการขึ้นรูปร้อนด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์และการทำนายสมบัติทางกลของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปร้อน

จากการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาพารามิเตอร์การถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์จากผลที่ได้พบว่าอัตราการเย็นตัวของชิ้นงานและแม่พิมพ์ของการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองการขึ้นรูปจริง และเวลาในการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ที่เหมาะสมคือ 8 วินาที โครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเป็นมาร์เทนไซต์ทั้งหมด เนื่องจากอุณหภูมิของชิ้นงานก่อนถูกนำออกจากแม่พิมพ์ต่ำกว่าอุณหภูมิสิ้นสุดมาร์เทนไซต์ (M_s) มีความแข็งที่ 50 HRC ทั้งชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน สำหรับผลของการคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากชิ้นงานไปสู่แม่พิมพ์พบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์จะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และบริเวณที่มีท่อระบายความร้อน (Bottom area) จะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าบริเวณที่ไม่มีท่อระบายความร้อน (Flange area) ประมาณ 20 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการเย็นตัวในแม่พิมพ์ การสะสมของอุณหภูมิบริเวณ Bottom ของแม่พิมพ์จะมีต่ำกว่าบริเวณ Flange สุดท้ายจากผลการทำนายสมบัติทางกลด้วยโมเดลของ Voce โดยอาศัยผลการคำนวณของด้วยความแข็งจากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโมเดลของ Voce พบว่าผลการทำนายกราฟความเค้นความเครียดจริงของบริเวณตำแหน่งปีก (Flange) ของชิ้นงานที่เย็นตัวในแม่พิมพ์ให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากกว่าบริเวณตำแหน่งตรงกลาง (Bottom) เนื่องจากกลุ่มของมาเทนไซต์ที่บริเวณ Bottom มีขนาดที่แตกต่างกับบริเวณปีก (Flange) โดยที่บริเวณตรงกลางของชิ้นงานมีกลุ่มของมาเทนไซต์ที่มีขนาดที่ละเอียดกว่าบริเวณปีกของชิ้นงานส่งผลให้สมบัติทางกลมีความแตกต่างกัน

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. รู้และเข้าใจถึงกระบวนการขึ้นรูปร้อน (Hot stamping) และสมบัติทางกลของเหล็กที่เกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างจากเฟสเฟอร์ไรท์-เพิร์ลไลต์เป็นเฟสมาร์เทนไซต์ โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและผลิตเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ต่อไปได้
2. สามารถนำแบบจำลองการขึ้นรูปไปปรับปรุงใช้สำหรับทำนายเวลาที่เหมาะสมในการเย็นตัวของชิ้นงานในแม่พิมพ์ซึ่งจะช่วยตัดสินใจในกระบวนการผลิตจริง
3. นำข้อมูลที่ได้ไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบและพัฒนาการผลิตเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงที่ใช้ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทย
4. สามารถทำนายกราฟความเค้นความเครียดของเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปร้อน

6.3 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

1. ในขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากเตาawangบนแม่พิมพ์ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ทำมาไม่มีไกด์สำหรับวางชิ้นงาน ซึ่งการวางชิ้นงานลงบนแม่พิมพ์ทำได้อย่างไม่แม่นยำ ทำให้ไม่ได้ตำแหน่งตามที่ต้องการ
2. เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิได้เพียงที่ละบริเวณ ในอนาคตจึงควรมีการเก็บข้อมูลในหลายๆตำแหน่งของชิ้นงานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น
3. ควรมีการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองต่อไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของพฤติกรรมความเสียหาย (Fracture) ของเหล็กกล้าที่ผ่านการขึ้นร้อน เพื่อใช้เป็นแนวทางการพัฒนาการผลิตเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษในประเทศไทยต่อไป
4. ควรมีการศึกษากระบวนการขึ้นรูปร้อนเพื่อผลิตชิ้นงานที่มีสมบัติที่หลากหลาย (Tailored properties) เพื่อพัฒนาการผลิตเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงพิเศษอย่างยั่งยืนในประเทศไทยต่อไป